

Estimación de usos del suelo con base en datos abiertos para la **planeación urbana en México**

Land Use Estimation based on **Open Data for Urban Planning in Mexico**

Jorge Alberto Montejano Escamilla, Felipe Gerardo Ávila Jiménez, Camilo Alberto Caudillo Cos y Rodrigo Tapia McClung*

Se presenta un ejercicio técnico-procesual que tiene por objetivo estimar el uso de suelo para todas las manzanas clasificadas como urbanas del territorio nacional únicamente con base en datos censales del Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). Dadas las bajas capacidades de generación de información de algunos municipios y la ausencia de catastros en gran parte del país, se presume que el método y el producto de esta investigación pueden ser considerados como un elemento de gran utilidad para servir de insumo base en procesos de planeación urbana, y que también tiene aplicación en estudios espaciotemporales comparativos. Su estimación se basa en un método de reclasificación de las categorías contenidas en las capas geográficas del Directorio Nacional de Unidades Económicas y del Sistema de Consulta de Información Censal de dicha institución. Mediante técnicas de correlación espacial, se corroboró una alta proporcionalidad entre los usos estimados y los catastrales.

Palabras clave: estimación; uso del suelo; planeación urbana; datos abiertos; México.

A technical-procedural exercise is presented with the objective of estimating land use for all blocks classified as urban in the national territory based solely on census data from the National Institute of Statistics and Geography. Given the low information generation capacities of some municipalities and the absence of cadastral surveys in most of the country, it is presumed that the method and the product of this research can be considered as a very useful element to serve as a basic input in urban planning processes, and that it also has application in comparative spatial-temporal studies. Its estimation is based on a method of reclassification of the categories contained in the geographic layers of the National Directory of Economic Units and the Census Information Consultation System of said institution. By means of spatial correlation techniques, a high proportionality between estimated and cadastral uses was corroborated.

Key words: estimation; land-use; open data; urban planning; Mexico.

Recibido: 6 de julio de 2022.
Aceptado: 4 de octubre de 2022.

* Centro de Investigación en Ciencias de Información Geoespacial, A.C. (CentroGeo), jmontejano@centrogeo.edu.mx, gavila@centrogeo.edu.mx, ccaudillo@centrogeo.edu.mx y rtapia@centrogeo.edu.mx, respectivamente.



Biblioteca del campus principal de la UNAM/ChepeNicolli/iStock

Introducción

Aun cuando México es un país predominantemente urbano, en el que más de 79 % de su población vive en algún tipo de ciudad (INEGI, 2020a), solo una muy baja proporción de sus municipios tiene algún tipo de instrumento de ordenamiento territorial (OT) o de desarrollo urbano (DU) que planifique el desarrollo del territorio reconociendo dicha condición. Según el Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de México 2021 (INEGI, 2021), entre el periodo 2003-2020, del total de los 2 469 municipios,¹ 32 % reportaron tener algún instrumento jurídico en materia de OT, mientras que 66 % contestaron no tener. Relativo a un plan o programa de desarrollo urbano municipal, solo 758 reportaron contar con ese instrumento (30 %) y, con respecto a uno de la ciudad, únicamente 293 (12 %) señalaron tenerlo. Según

¹ Incluyendo las demarcaciones territoriales de la Ciudad de México, que por economía se mencionarán solo como municipio(s).

el Censo, del total de municipios en el país, 50 % reportaron contar con algún sistema de gestión catastral; sin embargo, solo 9.8 % señalaron tener un visualizador cartográfico y 10 % mencionaron dar mantenimiento a la base cartográfica. Esto sugiere que ese es el porcentaje similar de aquellos que en verdad cuentan con una cartografía consultable y actualizada para funcionar como insumo base para el diagnóstico del estado de las cosas en materia de planeación y ordenamiento territorial.

A pesar de la falta de capacidades técnicas y debilidad estructural en los municipios para formular y gestionar dichas herramientas de planeación (Aldret, 2015; Cabrero, 2004; Ziccardi y González, 2015), en años recientes ha existido un esfuerzo semiarticulado por fortalecer a las instituciones encargadas de ordenar el territorio en nivel municipal, es decir, la figura de Instituto Municipal de Planeación (IMPLAN). Desde la aparición en 1994 del primer IMPLAN en León, Guanajuato, a la fecha (Gómez, 2015) se han creado 70 institutos (CIDEU,

2022); sin embargo, el rezago en la materia parece no haberse subsanado.

En este mismo sentido, se observan avances en el ámbito federal. La actual Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU) ha impulsado su ambicioso Programa de Modernización Registral y Catastral (SEDATU, 2021b). Como justificación, se argumenta la baja capacidad recaudatoria de los municipios mexicanos, ubicando a nuestra nación en el 2010 en el último escalafón en esa materia tanto de los países miembros de la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE) como de los latinoamericanos (Forbes, 2015; OCDE, 2011); pero también se indica la deficiencia observada en la planeación y ordenamiento territorial (SEDATU, 2021b, p. 25).

La combinación entre su baja capacidad tanto recaudatoria como para generar, gestionar y mantener instrumentos de OT y DU tiene como consecuencia que muchos municipios en México no tengan bases de datos suficientes para una planeación de su territorio. Frente a esta problemática, surge la siguiente pregunta: ¿será posible, a partir de los datos generados por el INEGI, estimar usos de suelo urbanos que sean útiles para la planeación urbana? En este sentido, la presente propuesta pretende servir de vía emergente para la planeación territorial informada en tanto no se subsane la ausencia de instrumentos oficiales base para el OT y DU. Así, el objetivo de este trabajo es describir el proceso técnico de clasificación utilizando únicamente bases en datos censales producidos por el INEGI para estimar el uso de suelo para todas las manzanas clasificadas como urbanas del territorio nacional. En cuanto al término uso del suelo, existen diversas conceptualizaciones, que son interpretadas en el cuadro 1.

En este documento se retoman las categorías establecidas en los ordenamientos jurídicos y los instrumentos de planeación² para utilizarlas en la estimación de usos del suelo producidos mera-

² Para mayor referencia sobre la clasificación y compatibilidad de los usos del suelo, ver SEDATU, 2021a, p. 65.

mente como categorías operativas. Los resultados permitirán —entre otras cosas— realizar comparaciones entre diferentes espacios geográficos de acuerdo con la distribución de los tipos de usos.

Este trabajo de investigación se desarrolla de esta manera: en el siguiente acápite se presenta una breve descripción del contexto nacional relacionado con el quehacer de la SEDATU, encargada del ordenamiento territorial en México, que sirve de justificación de los procesos de OT y DU como elementos esenciales para el desarrollo; posteriormente, se hace un corto recuento del estado del arte relativo a la identificación de usos de suelo actuales por medio de diferentes técnicas; más adelante, se detalla el proceso propuesto para su estimación utilizando datos abiertos, se describen las bases de datos empleadas y se muestra un caso de estudio para validar la propuesta (se usa el catastro); por último, se presentan la discusión y las conclusiones, con énfasis en la necesidad de una estandarización y sistematización de determinadas fuentes de datos geoespaciales para asegurar en el tiempo la viabilidad de esta sugerencia.

Invertir en la planeación y el ordenamiento del territorio

Sabemos que, en el mundo, cerca de 80 % del Producto Interior Bruto (PIB) se genera en ciudades (Banco Mundial, 2020), mientras que, en México, la cifra se eleva a 87 % (IMCO, 2020, p. 9), y que a pesar de los evidentes beneficios que conllevan las economías de aglomeración en las urbes bajo el actual paradigma del crecimiento económico, también son innegables las múltiples externalidades negativas que ello supone, como por ejemplo que "... La suma del gasto anual de desplazamiento de las familias y del costo de provisión de servicios públicos puede exceder el 1% del PIB del país cada año..." (WRI, 2021, p. 3) o que "... las ciudades consumen cerca de 78% de la energía mundial y producen más de 60% de las emisiones de gases de efecto invernadero..." (Naciones Unidas, s. f.). Otro dato alarmante que provee el estudio del Instituto de Recursos Mundiales (WRI, por sus siglas en in-

Conceptualización del uso del suelo desde diferentes perspectivas

Usos del suelo			
Jurídico	Planeación/Normativo	Producido/Actual	Académico/Técnico
<ul style="list-style-type: none"> • Se define en el orden jurídico. • Determina derechos y obligaciones públicas y privadas para su uso, destino y aprovechamiento. 	<ul style="list-style-type: none"> • Mediante la acción pública se utiliza la definición y dota de atribuciones para programar (usos y destinos) con base en instrumentos normativos, como la zonificación (tabla de usos del suelo y compatibilidad). • Dan materialidad a la política pública. • En el proceso, reconoce lo existente (usos producidos socialmente). • Sustenta mecanismos recaudatorios (catastros) en función de su aprovechamiento particular. 	<ul style="list-style-type: none"> • Resulta de la acción social (transformaciones con base en decisiones individuales) creación de condiciones, no siempre acorde con lo planeado. • Resultado de la acción pública (dotación de condiciones, i. e. infraestructura, equipamiento y servicios), responde a decisiones políticas, económicas y de gobierno. • Resultado de la acción privada, responde a fuerzas de mercado (se aprovechan condiciones materiales preexistentes, creadas social y públicamente) que transforman y generan efectos no siempre positivos. • Representan la estructura material construida de los procesos sociales, públicos y privados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Permite el análisis de realidades producidas desde los ámbitos social, público y privado. • El uso del suelo y sus categorías se utilizan comúnmente como variables analíticas que permiten el estudio de relaciones causales, explicativas y funcionales de fenómenos sociales y naturales. • Son útiles en la definición de objetos de estudio y explicación de procesos de producción del espacio en diversos ámbitos, escalas y temporalidades. • Son de utilidad como <i>Input</i> para la instrumentación de herramientas tecnológicas y la generación de modelos espaciales e identificar cambios y determinar patrones.

Fuente: elaboración propia.

glés) es el que, de continuar el ritmo de crecimiento actual de las ciudades mexicanas analizadas en él —de forma dispersa y en baja densidad—, la mitad de ellas necesitarán incrementar hacia el 2050 su gasto municipal de 48 a 244 % para mantener el mismo gasto actual por provisión de servicios públicos urbanos para las viviendas (WRI, 2021, p. 1).

Como se puede apreciar, la necesidad de ordenar el territorio y normar el destino y uso de suelo en zonas consideradas como urbanas está íntimamente ligada con la importancia que tienen en la actualidad las ciudades. No solo porque el desempeño económico del país depende en buena medida de ellas, sino por el potencial existente para generar bienestar a la mayoría de la población de México. Por ello, tanto el OT como el DU se vuelven herramientas esenciales para alcanzar niveles de sostenibilidad y aumento de la calidad de vida

de los urbanitas, sin importar el paradigma de zonificación con el que se parta para ordenar el territorio (i.e., uno más orientado a la desaparición de esta como instrumento regulador u otros más racionalistas que sostienen que es la base para las urbes ordenadas).

Sin embargo, parece no existir un claro entendimiento de ello en las altas esferas políticas. Como ejemplo, la OCDE ha señalado que es necesario un aumento en la inversión pública (IP) para alcanzar la implementación de la Nueva Agenda Urbana y sus Objetivos de Desarrollo Sustentable (ODS) al 2030.³ No obstante, un estudio del gasto público de su autoría revela que la IP promedio en los países

³ Plantean políticas territoriales que promueven la equidad y el desarrollo social como medio para abatir las desigualdades en las ciudades, considerando tres dimensiones: sociales, económicas y ambientales.

miembros de esta institución representa solo 3 % del PIB, y que esta inversión ha decrecido del 2008 al 2016 en 1.3 % anual (OCDE, s. f.).

En un ejercicio simple para el caso mexicano, realizado con base en el Presupuesto de Egresos de la Federación 2022 (Cámara de Diputados, 2021) y el desglose del ramo 15, se encuentra que del total del presupuesto federal para el 2022, la suma de los de la SEDATU y la Secretaría del Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) representa cerca de 0.76 por ciento. Solo a la primera se le asignó un presupuesto de 0.18 % del total federal. Al analizar los fondos autorizados a la SEDATU, se puede observar que los destinados al rubro *Política de Desarrollo Urbano y Ordenamiento del Territorio* representan 6.25 % (804 mdp) del presupuesto de la propia Secretaría, y un exiguo 0.011 % del total federal. Evidentemente, hay una gran cantidad de problemas en nuestro país, pero no parece que el Estado mexicano haya tomado nota de la importancia y relevancia que revisten los estudios de OT y DU a la luz de la asignación de recursos.

El OT puede ser conceptualmente entendido como la condición óptima relacional entre los grupos humanos y el ámbito físico natural en el que se asientan. Ello implica siempre una transformación inducida del espacio, cuyo objetivo último es darle un sentido al territorio, de tal forma que pueda coadyuvar en la tarea de reducir las asimetrías regionales. Parafraseando a Massiris (2005), existen diferentes definiciones de OT dependiendo de la visión disciplinar con la que se mire. Por ejemplo, una muy operativa y proveniente de la *Carta Europea de Ordenación del Territorio* de 1983 señala que es "... a la vez una disciplina científica, una técnica administrativa y una política concebida como un enfoque interdisciplinario y global cuyo objetivo es un desarrollo equilibrado de las regiones y la organización física del espacio, según un concepto rector..." (p. 16), mientras que el Grupo Interinstitucional de OT México la define como "... estrategia de desarrollo socioeconómico que, mediante la adecuada articulación funcional y espacial de las políticas sectoriales, busca promover patrones

sustentables de ocupación y aprovechamiento del territorio..." (Sánchez *et al.*, 2013, p. 27).

Por su parte, el planeamiento o planificación urbana es entendido en ONU-Hábitat (2014, p. 11) como "... una herramienta importante para que los mandatarios locales en la ciudad puedan alcanzar un desarrollo sostenible. Ayuda a formular objetivos a medio y largo plazo de forma que concilien una visión colectiva con la organización racional de los recursos para lograrla..."

Para alcanzar varios de los objetivos perseguidos en la planeación urbana, es necesario contar con información base que alimente, a su vez, los diagnósticos sobre las condiciones materiales de los asentamientos urbanos. Esta permitirá no solo determinar de mejor manera usos y destinos del suelo, sino también orientar el modelo de ciudad deseado con base en datos que revelen, por ejemplo, la densidad edilicia si el modelo a seguir fuera una mayor compacidad.

Trabajos previos para estimar el uso actual de suelo

Hasta donde sabemos, no parece existir literatura abundante relativa a la estimación de suelo urbano con objetivos de planeación en países con infraestructura pobre en materia de catastro. En una búsqueda exhaustiva —tanto de documentos en inglés como en español—, encontramos principalmente textos que tratan, sobre todo, con métodos para detectar crecimiento urbano, cambios de uso del suelo urbano, métodos para determinar patrones de este mediante percepción remota (PR), así como otros de carácter prospectivo (simulaciones).

El problema aquí planteado —la utilización de bases de datos abiertos oficiales para la generación de información de uso del suelo urbano que coadyuve en la planeación urbana en ausencia de información catastral y de relativo bajo costo— parece no haber sido abordado profusamente en el ámbito académico. Sin embargo, resaltan algunos trabajos ejemplares, como el de Chen *et al.* (2021),

Huang *et al.* (2018) y Liu *et al.* (2017), los cuales generan clasificaciones muy básicas de uso de suelo urbano utilizando bases de datos abiertos de múltiples fuentes —incluso información de redes sociales— (i.e. *Open Street Maps*, imágenes de los satélites *Landsat*, *Sentinel 1 y 2*, etc.) y aplicando algoritmos de inteligencia artificial (AI, por sus siglas en inglés) para ello (redes neuronales, aprendizaje profundo, por ejemplo) con resultados de clasificación con precisiones que rondan el 80 por ciento. Sin embargo, todos ellos involucran complejos procesos de datos y requieren de amplios conocimientos técnicos sobre manipulación de grandes cantidades de datos geoespaciales para lograr su objetivo.

Algo más cercano a nuestro trabajo es lo que llevaron a cabo Jokar *et al.* (2013), quienes clasificaron el uso del suelo urbano en Viena mediante la utilización solamente de información proveniente de *Open Street Maps (OSM)* y sin el auxilio de fuentes de PR. Esta aproximación en el uso de información geoespacial voluntaria permite —según sus autores— una precisión promedio de 80 %; la investigación es relevante, pues muestra que no es indispensable la utilización de PR para detectar usos del suelo urbano con un nivel de precisión aceptable, sin embargo, la clasificación derivada del *OSM* es muy básica y, de manera adicional, existen estudios que ponen de relieve que las fuentes de información geográfica voluntaria pueden contener errores, tanto de precisión como de calidad de estas (Foody *et al.* 2015, p. 337).

Instrumentos oficiales para la planeación urbana

La *Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano (LGAHOTDU)* (SEDATU, 2016) señala como “... Destinos...” en su primer artículo, fracción XVI, a los fines públicos a que se prevea dedicar determinadas zonas o predios de un centro de población o asentamiento humano. Paralelamente, en su fracción XXXVI, define los usos de suelo como “... Los fines particulares a que podrán dedicarse determinadas zonas o pre-

dios de un Centro de Población o Asentamiento Humano...”. Estas acepciones están relacionadas, por su redacción, con las acciones urbanísticas que determinen los programas de OT y DU, pero, no así, en el proceso de la elaboración de dichos instrumentos.

Consultando las diversas guías, lineamientos y términos de referencia establecidos por la SEDA-TU que buscan la implementación de dichos instrumentos a partir de la *LGAHOTDU*, se encuentra la publicación *Lineamientos Simplificados: Guía de Implementación*, en la cual se presentan, en el inciso 5.3.2., “... usos de suelo...” que son considerados como un elemento constitutivo de la estructura urbana y cuyo análisis permite identificar las dinámicas urbanas que son expresadas en el uso de suelo. En dichos usos se “... analizarán qué tipo de actividades se realizan en las zonas predominantemente comerciales y mixtas [aunque no son limitativas también las industriales y turísticas]; [...] también se deberá incorporar una diferenciación entre las zonas centrales y periféricas...” (SEDATU, 2020, p. 30). Con lo anterior se busca sentar las bases para definir la estrategia de densificación y mezcla de usos de suelo en un horizonte prospectivo.

En el proceso de planeación, los términos de referencia para la elaboración de programas metropolitanos (SEDATU, 2021a) establecen, en la dimensión urbano-rural, que se deberá realizar la “... identificación de las actividades de ocupación del territorio, estimando las superficies destinadas a cada una de ellas, especificando su importancia dentro del sistema metropolitano...” (p. 10). Esta cita resume la intención y el propósito que persigue el proceso de planeación, y es en este punto donde se ubica la pertinencia de contar con un método que permita estimar los usos de suelo considerados como actuales, que no son los mismos establecidos en la zonificación de los instrumentos de planeación.

En la práctica, los usos actuales del suelo en el ámbito urbano se han utilizado por lo regular para la elaboración de instrumentos de planeación urbana y, en particular, para la definición o actuali-

zación de la zonificación. Este es un proceso que, en muchas ocasiones, responde al reconocimiento de lo existente, para después institucionalizarlo; o bien, los usos actuales son el resultado de la política urbana expresada en los programas de desarrollo urbano y, en menores casos, en los catastros. Con respecto a la zonificación, se ha optado por la separación de usos en términos de criterios de compatibilidad, como resultado de una *decisión racional* (ONU-Hábitat, 2014, p. 28). Dicha situación ha generado zonificaciones con usos monofuncionales y ha ocasionado una fragmentación social, expresada en términos territoriales por la división de espacios habitacionales —de acuerdo con características socioeconómicas homogéneas— y la separación de estos, con lugares de trabajo, comercial y social.

Desde el punto de vista social, las implicaciones de la política racional del suelo urbano se han visto reflejadas en la dificultad para acceder a los servicios urbanos, principalmente por aquellos grupos de menores ingresos y los étnicos, reduciendo así las oportunidades de interacción e integración social. En términos económicos, ha impedido sinergias y limitado la estimulación entre actividades económicas. Además, en cuestión territorial, ha propiciado bajas densidades, el incremento de la movilidad individual, la reducción de la viabilidad del transporte público y, sobre todo, la exclusión de sectores menos favorecidos, este último derivado de los efectos de la rentabilidad del suelo urbano (ONU-Hábitat, 2014).

Como parte de los esfuerzos institucionales por estandarizar el proceso de planeación en México, se cita la *Guía Metodológica para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano*, elaborada por la SEDATU y la SEMARNAT en el 2017 (SEDATU *et al.*, 2017), en la que se recomienda una serie de procesos para el desarrollo de los apartados que darán cuerpo a los instrumentos de planeación. Entre ellos, se encuentran los relacionados con los usos de suelo. De manera inicial, se propone la clasificación y principales coberturas. Este apartado clasifica "... las principales coberturas / usos de suelo del municipio o de la aglomera-

ción de municipios para los dos años elegidos (T1 - T2) en las siguientes categorías: cuerpos de agua, suelo natural, forestal, suelo agropecuario y suelo artificializado..." (p. 103). Esta última comprende "... todas aquellas superficies con gran parte de la cobertura ocupada por estructuras edificadas..." (p. 104). Los productos esperados, según la *Guía*, son mapas de la cobertura del suelo para T1 y T2, además de tablas que logren representar las categorías del suelo y su respectiva superficie. Una vez que se cuenta con los dos mapas, se sugiere utilizar dos indicadores que apoyen la evaluación de la clasificación. Estas métricas son de precisión general.⁴

Los criterios antes mencionados se aplican sobre coberturas territoriales relativamente grandes; es decir, son usos generales a nivel de todo el municipio. Para la identificación de usos de suelo intraurbanos, la metodología institucional propone las categorías de equipamiento, divididas por subsistemas (con base en el Sistema Nacional de Equipamiento Urbano de la Secretaría de Desarrollo Social, hoy en día de Bienestar). Recomienda consultar fuentes y datos sectoriales de las secretarías de Estado, sin especificar cuáles. Para la detección de vacíos urbanos, propone consultar la información catastral municipal, además de la obtenida en trabajo de campo. Para el cálculo de la densidad, plantea la identificación de zonas con potencial para su densificación (usos mixtos y densidad media). Los espacios libres y áreas verdes son considerados como parte de los usos de suelo, además de los tipos comercial, oficinas e industrial. Para estas últimas categorías, recomienda la elaboración de cuadros que muestren la distribución porcentual con base en las siguientes fuentes: *Cartografía urbana de los microdatos del Censo de Población y Vivienda 2010* (INEGI), Dirección de Desarrollo Urbano del municipio, catastro municipal, sector transporte del gobierno estatal y levantamiento de información en campo.

⁴ *Overall Accuracy* es una de las medidas más comunes para cuantificar la bondad de las clasificaciones de cobertura del suelo y se basa en el promedio del porcentaje de clasificaciones exactas, y el Coeficiente Kappa (K), que es un índice adicional para evaluar la exactitud de un mapa temático, se basa en técnicas multivariantes discretas; el K mide el grado de incoherencia entre los resultados de la clasificación y los datos de referencia (SEDATU *et al.*, 2017, p. 106).

Para el análisis intraurbano, no se proponen indicadores de evaluación en la *Guía*, solo se sugieren fuentes del INEGI, pero sin precisar el tratamiento para obtener emplazamientos concretos de los usos. Se recurre a la información catastral, sin embargo, la realidad es que no todos los municipios del país cuentan con bases catastrales actualizadas y por manzana. Gran parte de los apartados apuntan al levantamiento de información en campo como uno de los instrumentos necesarios para la generación de mapas y datos. El trabajo en campo lo considera como fundamental durante el proceso de planeación; no obstante, debido a los bajos presupuestos federales asignados para la elaboración de estos instrumentos y al exiguo cronograma para generar los planes, se dificulta alcanzar las metas establecidas en este tipo de guías, términos de referencia y lineamientos, por muy simplificados que sean.

Materiales y métodos

Acceso a bases de datos disponibles

La estimación de los usos de suelo en las áreas urbanas del país considera como principales fuentes de información las adquiridas de manera libre en el portal del INEGI. Con ello, se busca que el método propuesto pueda replicarse por lo menos en los eventos censales posteriores al 2020, sienta las bases para los ejercicios iniciales de planeación y sea un insumo para acompañar la Meta 500 sugerida por la SEDATU.⁵

Para identificar los usos de suelo a nivel nacional para el 2020, se utilizaron las capas geográficas derivadas del Marco Geoestadístico Nacional 2020 (MGN) (INEGI, 2020c), el cual permite relacionar la información estadística con el espacio geográfico. Además, divide el territorio nacional en áreas de fácil identificación y es utilizado para referir geográficamente la información estadística de los cen-

5 El Subsecretario de Desarrollo Urbano y Vivienda destacó que el objetivo es actualizar 500 programas de DU, ver Comunicado 586/2022 SEDATU (DE) <https://www.gob.mx/sedatu/prensa/pide-sedatu-a-las-y-los-legisladores-fortalecer-leyes-a-favor-de-la-planeacion-y-el-desarrollo-territorial?idiom=es>

sos y encuestas institucionales,⁶ como es el caso de los microdatos,⁷ que están desagregados a nivel de manzanas y es la principal base para la estimación del uso habitacional y la definición de la densidad urbana. Otro de los productos de la misma institución es el concentrado en el Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) 2020 (INEGI, 2020d), el cual surgió en 1990 "... con el propósito de relacionar la información demográfica emanada de los censos con mapas de las distintas localidades y regiones del país..." (INEGI, 2010, p. 5).

Parte de la información espacial complementaria contenida en el MGN es la de servicios (capa SIP), la cual muestra la representación puntual de los equipamientos e infraestructuras urbanas y fue de utilidad para identificar, a nivel de manzana, los destinos del suelo.

Para ubicar espacialmente las actividades económicas en cada manzana, se utilizó el Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE) del 2020 (INEGI, 2020b). Esta capa de información ofrece datos puntuales de identificación, ubicación, actividad económica y tamaño de las unidades económicas (UE).

Como unidad de análisis, se utilizaron los polígonos de manzanas urbanas, debido a que aquellas clasificadas así por el INEGI se pueden relacionar, mediante la clave geográfica, con variables sociodemográficas censales (microdatos), rasgos puntuales de equipamientos, instalaciones diversas, infraestructuras, UE y personal ocupado (PO); es decir, su esquema de entidad-relación permite enlazar y agregar —uno a uno y muchos a uno— información estadística con la base geográfica de manzanas. Para cada capa geográfica se eligieron variables censales de utilidad para la estimación del uso de suelo. Estas se presentan en el cuadro 2.

6 <https://www.inegi.org.mx/temas/mg/#:~:text=EI%20Marco%20Geoestad%C3%ADstico%20es%20un%20sistema%20dise%C3%B1ado%20por%20Instituto%20Nacional,para%20las%20actividades%20de%20captaci%C3%B3n>

7 La información que contiene este producto expone una selección de indicadores sobre las características sociodemográficas de la población y las viviendas de las localidades urbanas (es aquella que tiene una población mayor o igual a 2 500 habitantes o que es cabecera municipal) del país, generados con los resultados del Censo de Población y Vivienda 2020 desagregados hasta el nivel de manzana urbana (DE) https://www.inegi.org.mx/contenidos/programas/ccpv/2020/doc/fd_agebmza_urbana_cpv2020.pdf

Principales fuentes de información

Capa geográfica	Variable
MGN 2020 (manzanas urbanas-microdatos)	<p>AMBITO. Considera una clasificación como <i>urbana</i> y <i>rural</i>.</p> <p>TIPOMZA. Clasificación que considera categorías: manzana típica, edificio, bajo puente, camellón, glorieta, parque o jardín.</p> <p>POBTOT. Total de personas que residen habitualmente en la manzana.</p> <p>VIVTOT. Viviendas particulares habitadas, deshabitadas, de uso temporal y colectivo.</p> <p>HA. Superficie expresada en hectáreas.</p>
SCINCE 2020 (capa SIP)	GEOGRAFICO. Variable que contiene las categorías de los servicios puntuales correspondientes a equipamientos, infraestructuras e instalaciones diversas.
DENUE 2020	<p>CODIGO_ACT. Código de actividad correspondiente, según el Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) 2018.</p> <p>PER_OCU. Rangos o estratos de personal ocupado: 0 a 5, 6 a 10, 11 a 30, 31 a 50, 51 a 100, 101 a 250, 251 y más.</p>

Fuente: elaboración propia con base en INEGI; las tres fuentes de datos se obtuvieron mediante consulta directa en el sitio de descarga masiva del INEGI en <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/default.html>

Método de clasificación de los usos estimados de suelo

Este consiste en un ejercicio de análisis y clasificación de las categorías de las variables censales, principalmente de vivienda, unidades económicas y de equipamientos. Para llevar a cabo este proceso, se definieron los criterios (ver diagrama) para seleccionar el conjunto de unidades de análisis (manzanas) y reclasificar y agrupar las categorías (origen) a cada una de las categorías estimadas.

Para calcular la densidad en las categorías estimadas *habitacional* y *habitacional mixto*, se definieron y aplicaron los criterios del cuadro 3. Para clasificar los usos habitacionales y mixtos, se proponen los parámetros generales que consideran solamente la ocupación del territorio sin considerar la intensidad del uso de suelo.

Regularmente, en procesos de percepción remota y tratamiento de imágenes satelitales para identificar usos de suelo y vegetación se utilizan puntos o polígonos para validar la modelización (clasificación supervisada). En este caso, se recurrió a la información catastral disponible más cercana

al ejercicio de estimación (2018) para comparar con el uso real. No obstante, al ser el catastro una fuente de información que no se actualiza en su totalidad con regularidad,⁸ se deben considerar ciertas imprecisiones que pueden afectar los resultados comparativos, como errores topológicos detectados en el catastro o la aparición de nuevas manzanas no registradas en él. Cabe señalar que, en la actualidad, la información catastral es de difícil o nulo acceso en varias áreas urbanas o ciudades del país. Esta situación limita el ejercicio comparativo para su realización en una cobertura nacional. Aun con ello, este ejercicio utilizó los datos geográficos obtenidos del portal de datos abiertos de la Ciudad de México (ADIP, 2018).

Dentro de las características necesarias para poder realizar este ejercicio, se consideraron los siguientes criterios: a) los datos geográficos deben estar referidos a predios, ser polígonos y contar con clave de manzana y b) cada uno de los predios debe tener el uso actual mediante categorías claras. La clave de manzana permitirá agregar el uso

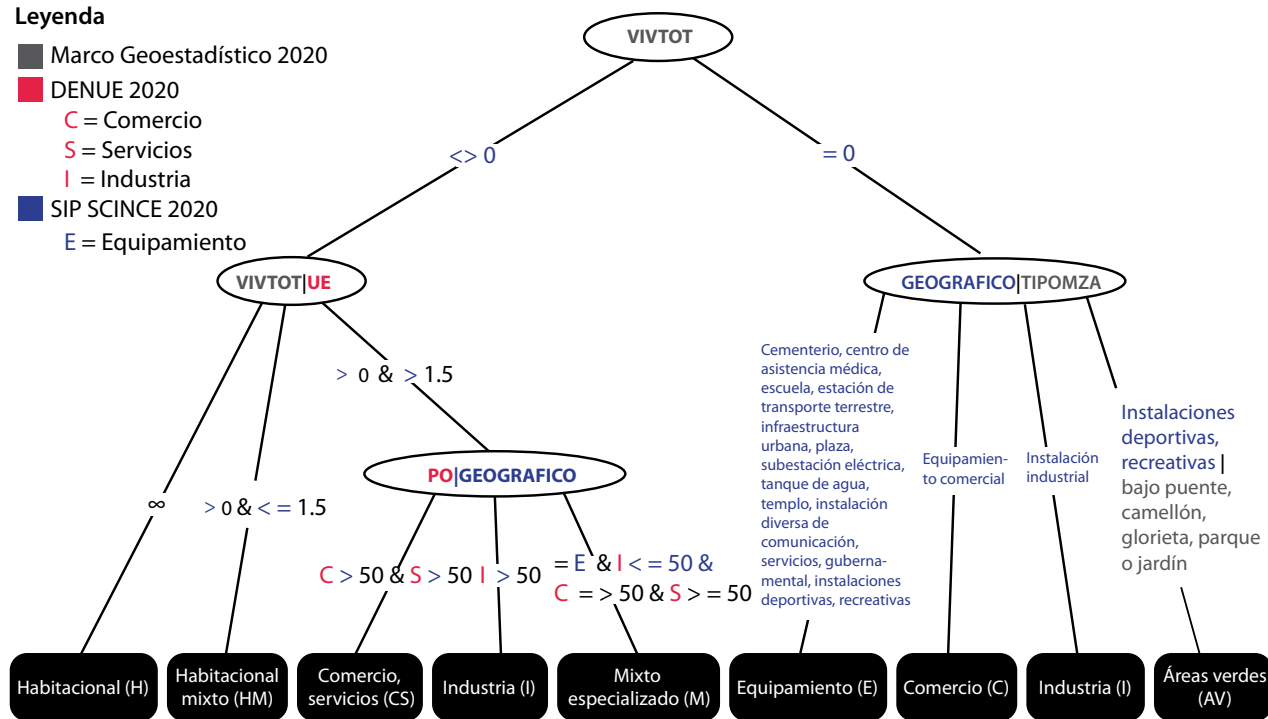
⁸ En el 2008 inició el Programa de Modernización y Actualización del Catastro de la Ciudad de México. El proyecto, en su fase inicial, se desarrolló del 2008 al 2010, por lo que algunos usos pueden estar desactualizados o corresponder a años anteriores al 2018.

Diagrama

Criterios para clasificación de los usos estimados de suelo

Leyenda

- Marco Geoestadístico 2020
- DENU 2020
- C = Comercio
- S = Servicios
- I = Industria
- SIP SCINCE 2020
- E = Equipamiento



Nota: el valor 50 son unidades económicas con más de 50 personas ocupadas en cada sector de actividad; se utiliza la clasificación: 0 a 5, 6 a 10, 11 a 30, 31 a 50, 51 a 100, 101 a 250 y 251 y más del DENU 2020.
Fuente: elaboración propia con base en INEGI.

Cuadro 3

Criterios para la estimación de la densidad

Fuente de datos	Uso estimado	Criterio de clasificación	Densidad urbana
Uso estimado	Habitacional (H)	H-a = (VIVTOT/HA (>= 150 viv/ha))	Habitacional alta densidad (H-a)
		H-m = (VIVTOT/HA (< 150 >= 100 viv/ha))	Habitacional media densidad (H-m)
		H-b = (VIVTOT/HA (< 100 viv/ha))	Habitacional baja densidad (H-b)
	Habitacional mixto (HM)	HM-a = (UE/VIVTOT (> 2))	Habitacional mixto alta densidad (HM-a)
		HM-m = (UE/VIVTOT (<= 2 & > 0))	Habitacional mixto media densidad (HM-m)

Nota: UE hace referencia a unidades económicas; VIVTOT y HA se definen en el cuadro 2.
Fuente: elaboración propia, con base en el SCINCE, DENU y Marco Geoestadístico Nacional, INEGI 2020.

Cuadro 4

Criterios para la clasificación de los usos de suelo catastrales

Fuente de datos	Uso catastral	Criterio de clasificación	Uso catastral clasificado
Catastro 2018	Habitación	$H = (= \text{Habitación})$	Habitacional (H)
	Habitacional, mixto, comercio y servicios	$HM = (M + CS / H (>= 1))$	Habitacional mixto (HM)
	Estacionamiento, hotel y oficina	$M = (M + CS + E (>= 200))$	Mixto especializado (M)
	Cultura, educación, panteón y salud	$E = (= E - H < > 0)$	Equipamiento (E)
	Comercio, abasto y comunicaciones	$CS = (= CS - H < > 0)$	Comercio y servicios (CS)
	Industrial	$I = (= \text{Industrial} - H < > 0)$	Industria (I)
	Baldío, cancha, deporte y jardines	$AV = (= AV - H < > 0)$	Área verde (AV)

Fuente: elaboración propia con base en ADIP, 2018.

Cuadro 5

Criterios para el cálculo de la densidad en usos catastrales

Fuente de datos	Uso catastral clasificado	Criterio de clasificación	Densidad urbana
Uso catastral	Habitacional (H)	$H-a = (\text{PRED } H \text{ m}^2 (<= 70 \text{ m}^2))$ $H-m = (\text{PRED } H \text{ m}^2 (> 70 <= 100 \text{ m}^2))$ $H-b = (\text{PRED } H \text{ m}^2 (> 100 \text{ m}^2))$	Habitacional alta densidad (H-a) Habitacional media densidad (H-m) Habitacional baja densidad (H-b)
	Habitacional mixto (HM)	$HM-a = (M + CS/H (> 2))$ $HM-m = (M + CS/H (<= 2 >= 1))$	Habitacional mixto alta densidad (HM-a) Habitacional mixto media densidad (HM-m)

Nota: PRED H m² corresponde a la superficie en metros cuadrados; para M, CS y H, ver cuadro 4.

Fuente: elaboración propia con base en ADIP, 2018.

a nivel de manzana con base en el número de predios para determinar el uso predominante.

Para el caso de la reclasificación del uso actual registrado en la información catastral, se definieron los criterios que se muestran en el cuadro 4 organizados con base en la clasificación definida en la fuente original.

Para el caso de los usos catastrales reclasificados como habitacional y habitacional mixto, se aplican criterios similares a los utilizados para definir los parámetros en la estimación de usos (ver cuadro 5).

En gran medida, el aporte metodológico propuesto se resume y esquematiza en los cuadros de reclasificación. Es relevante recordar que esta no es limitativa, debido a que plantea un primer

acercamiento metodológico que permita representar los procesos de uso y ocupación del suelo urbano en México. Además, se debe considerar que las bases de datos geográficos catastrales locales suelen tener diferencias en las categorías de los usos actuales entre sí. Con respecto a los parámetros utilizados para el cálculo y representación de la densidad habitacional, estos fueron definidos para el conjunto de manzanas urbanas a nivel nacional; no obstante, se pueden ajustar a las diversas realidades regionales o de ciudades.

Procesamiento de datos con base en criterios para la clasificación

A continuación se presentan los pasos con los cuales se obtiene la reclasificación del uso estimado de suelo:

1. Selección de unidades espaciales. Se escogen las manzanas censales urbanas en la capa geográfica nacional que tengan la categoría *Urbana* en la tabla de atributos. Esta identifica a todos aquellos polígonos pertenecientes a una localidad urbana de más de 2 500 habitantes, según el INEGI. El total de manzanas que cumplen con este criterio de selección son 1 600 016 polígonos distribuidos en las 32 entidades federativas del país. Con el fin de agilizar los procesos a esta capa geográfica, solo se unen los atributos de población total y total de viviendas; también, se calcula la superficie en hectáreas de cada manzana para utilizarla después en el cálculo de la densidad de viviendas para los usos habitacional y habitacional mixto, principalmente.

2. Asignación del uso habitacional y densidad a las manzanas urbanas. En la tabla de atributos de la capa geográfica se crea una columna, que recibirá el valor *H*, que identifica las manzanas con uso habitacional (con dato de vivienda). Con esto se obtiene el uso habitacional, el cual puede expresarse a través de la densidad habitacional en la manzana (viviendas/hectáreas), que es calculada en una nueva columna y se utiliza en procesos posteriores. Esta métrica es relevante debido a que permite identificar zonas habitacionales con mayor densidad —las cuales, en su mayoría, corresponden a conjuntos y unidades habitacionales— o bien, en caso contrario, identificar zonas con muy baja densidad, dando cuenta a vivienda de tipo popular en proceso de consolidación. La densidad se clasifica de acuerdo con los parámetros descritos en el cuadro 3 (como opción, se crea una columna para colocar los identificadores: a = alta, m = media y b = baja).

3. Sectores económicos por manzana. Se unen las 32 capas geográficas correspondientes a cada entidad federativa del DENUE en un archivo geográfico. Se crea una columna en la que se identifica el sector de pertenencia de cada unidad económica.

Para la definición del sector de actividad, se utiliza el SCIAN 2018 (INEGI, 2018). Este señala que la clave de actividad está compuesta por seis caracteres, de los cuales los dos primeros (de izquierda a derecha) corresponden al sector. Las claves se reclasifican como sigue: sector 21, 22, 23, 31-33 como *Industria*; 43 y 46, *Comercio*; y del 48 al 91, *Servicios*.⁹ Además, se calcula el PO, creando una columna (tipo continua), la cual se llena con los valores numéricos obtenidos del límite superior de cada clase (i.e., 0 a 5 = 5, 6 a 10 = 10, 11 a 30 = 30...).

4. Identificación de usos habitacionales mixtos¹⁰ por manzana. La capa del DENUE se disuelve utilizando la clave de manzana para obtener una con el total de UE y de PO. Otra segunda se genera disolviendo por clave de manzana y sector general de actividad. Con ello, se obtienen dos columnas: una con el subtotal de UE por cada sector y otra con la suma del PO por sector (ver cuadro 3). Las dos capas obtenidas se relacionan con la de manzanas utilizando la clave de manzana como llave y, así, se pasan los totales y subtotales por sector. Con los totales de viviendas y de UE se seleccionan las manzanas que tienen presencia de ambas unidades y se definen en una nueva columna como *habitacional mixto*. Para determinar la densidad de este uso, se genera un cociente (UE/VIVTOT) para aplicar el criterio del cuadro 3. Aquellas manzanas con cociente menor que 0 serán consideradas como habitacional mixto sin densidad (sería equivalente a HM de baja densidad considerando que existen mezclas mínimas), siempre y cuando en ellas existan viviendas y UE.

9 Para ver la descripción de los sectores, consultar: <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/scian/tablxiv.pdf>

10 “El término de uso mixto en general implica la coexistencia de tres o más importantes tipos de uso que producen ingresos...” (Witherspoon, R *et al.*, 1976, mencionado en ONU-Hábitat, 2014. p. 28). Se trata de abolir paulatinamente los usos de suelo monofuncionales provocados por la zonificación para transitar a usos múltiples compatibles; no obstante, el concepto de usos mixtos contrasta con el de usos múltiples que, aunque tiene dos o más usos en un solo sitio, no está integrado al contexto de ciudad. El uso mixto considera elementos que permitan vivir-trabajar-jugar integrado en un entorno urbano y suburbano (Rabianski, 2007, p. 4)

5. Definición de uso industrial, comercio y servicios. En la capa de manzanas se seleccionan aquellos polígonos cuyo valor en la columna de la sumatoria de PO del sector industrial sea mayor a 50 personas ocupadas (representan a las UE de mayor tamaño). Aquellas manzanas que cumplan con este criterio y no tengan presencia de vivienda serán clasificadas como uso *Industrial*. De manera similar, se realiza el procedimiento antes descrito para el sector comercio y el de servicios, y a estas últimas categorías se les asigna el de *Comercio y Servicios*, respectivamente.

6. Equipamiento público, mixto especializado y área verde. Para identificar el emplazamiento del equipamiento y de área verde, se utiliza la capa geográfica del SCINCE (SIP) y las categorías referidas en el diagrama arriba presentado. Para ubicar el uso mixto especializado, se trabaja con las columnas del tamaño de las UE de comercio, servicios e industria seleccionado aquellas mayores a 50 personas ocupadas y que se encuentren mezcladas con vivienda; es decir, son manzanas altamente especializadas.

Descripción de los usos estimados de suelo

Una vez concluidos los procesos anteriores, se procede a reclasificar las diversas categorías que resultan de la concatenación de las columnas de uso comercial, industrial, servicios, habitacional, equipamiento y área verde. Las primeras combinaciones arrojaron más de 50¹¹ combinaciones posibles; no obstante, se definieron siete tipos de usos de suelo para los cuales se define su composición de la siguiente manera:

- **Habitacional.** Son todas aquellas manzanas que no cuentan con UE ni equipamientos. De

fine la pureza del uso habitacional. Se establece como densidad alta a las que tienen una densidad mayor a 149 viviendas por hectárea; es decir, se estima un lote promedio de menos de 70 m²; la media va de 100 a 149, con un lote promedio entre 71 a 100 m² y la baja con menos de 100 viviendas por hectárea y lotes promedio superiores a los 100 metros cuadrados.

- **Habitacional mixto.** Este uso considera la mezcla habitacional con industria vecina, comercio y servicios. Para clasificar una manzana con este uso, se consideró que era suficiente que una tuviera un uso habitacional combinado mínimamente con uno del tipo de los cuatro sectores económicos considerados. Para determinar la densidad, se utilizó la relación entre el número de unidades económicas y el de viviendas en la manzana. Como densidad alta se consideraron aquellas manzanas que registraron valores mayores al doble de UE en relación con el número de viviendas, y a las que presentaron cifras menores a 2 y mayores a 1, se les asigna una densidad media. La categoría de baja no se incluyó en este ejercicio debido a que en la mayor parte de las manzanas existen unidades económicas mezcladas con vivienda y a que, dada su generalizada cobertura, no permitiría identificar el uso habitacional.
- **Mixto especializado.** Son aquellas manzanas que albergan una mezcla de uso industrial, comercio o servicios combinada con equipamiento público. Se define como especializado debido a que son regularmente UE con más de 50 personas ocupadas y tienen presencia de vivienda. En estas no se identifica uso predominante, pero sí albergan grandes unidades económicas.
- **Comercio y servicios.** Son manzanas que solo alojan UE comerciales y de servicios y no cuentan con vivienda. Este tipo de uso se obtuvo a partir de la selección de aquellas unidades económicas que cuentan con más de 50 personas ocupadas.
- **Equipamiento.** Esta categoría la conforma el conjunto de manzanas que tienen equi-

¹¹ Para la reducción de las múltiples combinaciones iniciales, se utilizaron los criterios de agregación y/o discriminación descritos en el diagrama arriba presentado.

pamiento público y, en algunos casos, están mezcladas con UE de comercio y servicios. No considera la presencia de uso habitacional.

- **Área verde.** Corresponden a las unidades territoriales que cuentan con UE definidas como equipamiento público y coinciden con las áreas verdes del SCINCE; además, en la variable del tipo de manzana se lograron identificar las siguientes categorías: camellón, bajo puente, glorieta y parque o jardín, las cuales son consideradas como áreas verdes.
- **Industria.** Para el caso de este, incluye aquellas manzanas en las que se ubican UE industriales, en algunos casos mezcladas con las de comercios y servicios; no obstante, el tamaño de las UE industriales se consideró para definir su uso como industrial. Las de más de 50 personas ocupadas quedan representadas en este.

El producto obtenido de la estimación de los usos de suelo es una capa de cobertura nacional a nivel manzana, de la cual se extrajo el estimado para la Ciudad de México. Esta selección se utiliza para realizar el ejercicio comparativo con respecto al catastral del 2018.

Tratamiento de datos catastrales

Los procesos que se realizaron para clasificar las categorías de la capa catastral se basan en los criterios definidos en los cuadros 4 y 5, y se mencionan a continuación:

1. La capa de predios catastrales se disuelve utilizando la clave de manzana y las categorías del uso actual. Con esto se garantiza tener una nueva capa con el número de predios de cada uso por manzana.
2. Se inicia identificando el uso habitacional en una columna nueva destinada para rellenar los usos homologados con los estimados. Se crea una columna que contenga el resultado del cociente (usos mixtos + comercio y servicios/habitacional) para asignar a valores mayores a 1 el uso habitacional mixto.

3. Para obtener el uso mixto especializado, se seleccionan aquellas manzanas que albergan estacionamientos, hoteles y oficinas y que no tengan presencia de vivienda. Las que cuentan con el mayor número de predios con estos usos serán clasificadas con esta categoría. Este criterio puede variar en función de la ciudad, del tamaño de las manzanas y de la variabilidad de los datos.
4. El resto de usos (equipamiento, comercio y servicios, industria y área verde) se asignan solamente a aquellas manzanas que no tienen vivienda. Por lo regular se asigna el uso predominante que depende del mayor número de predios.
5. Para determinar la densidad de los usos re-clasificados como habitacional, se aplican los criterios del cuadro 6. En este caso, como se cuenta con la superficie agregada por manzana de los predios y el número de estos por uso agregado, se puede estimar el tamaño promedio de la selección habitacional. Para la densidad del uso habitacional mixto, se utiliza una columna que contenga el resultado del cociente de la suma de usos mixtos y de comercio y servicios dividido entre el total del uso habitacional en la manzana.

Resultados

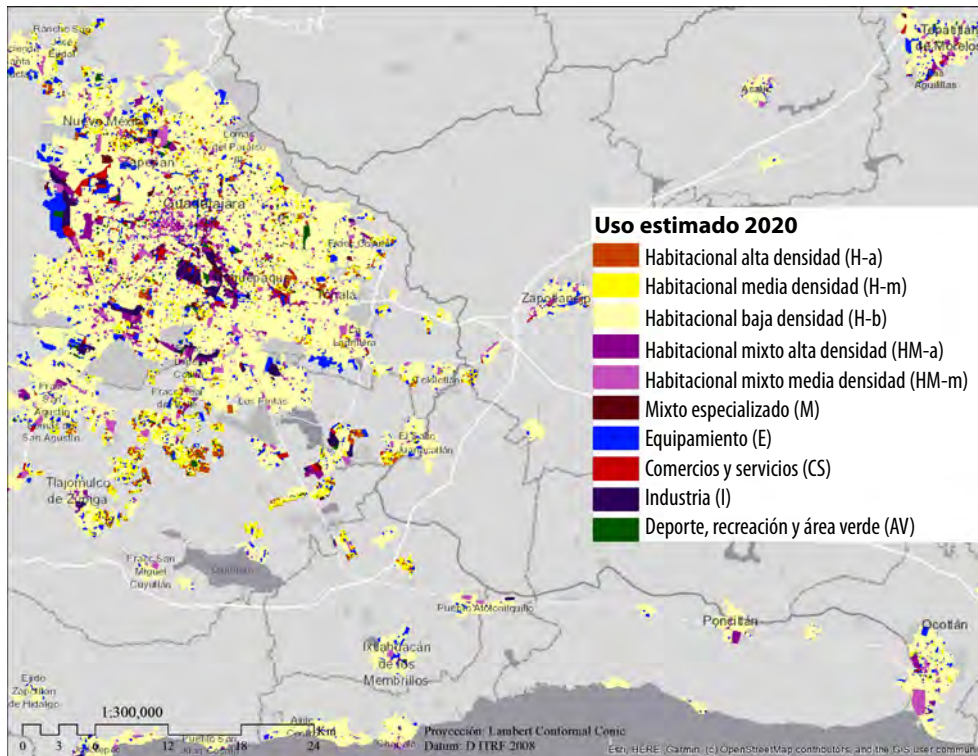
Esta clasificación general permite identificar y cuantificar, en el ámbito de las ciudades a nivel nacional, la diversidad y mezcla de usos de suelo. Además, es posible realizar la comparación entre urbes. El mapa 1 muestra un ejemplo de la estimación de uso de suelo en la región de Guadalajara, Jalisco. El usuario interesado puede explorar los datos en <http://rtm22.centrogeo.edu.mx/uso-de-suelo/>.

La gráfica 1 muestra la distribución en términos relativos, en la que se observa un predominio del uso habitacional¹² de baja densidad

¹² Según González, Kunz, y Barrios (2003), no existen datos exactos de la distribución de los usos del suelo urbano. En su trabajo estimaron que el uso habitacional a nivel nacional puede abarcar entre 75 y 50 % de la superficie urbana. En esta publicación, el lector puede profundizar en temas sobre las relaciones funcionales entre los usos del suelo urbano.

Mapa 1

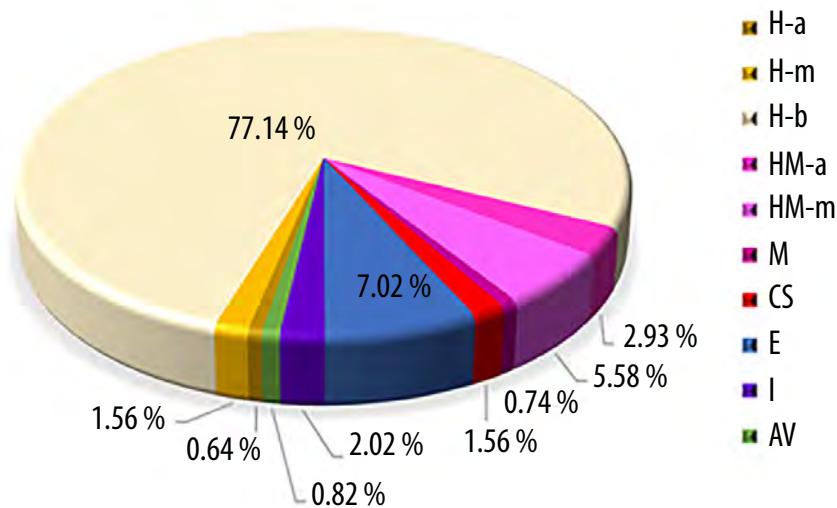
Uso estimado 2020 para manzanas urbanas (Guadalajara, Ocotlán y Tepatlitlán)



Fuente: elaboración propia con base en datos del INEGI (2020); resultados obtenidos de la estimación de usos de suelo a nivel nacional.

Gráfica 1

Distribución de los usos de suelo estimados a nivel nacional



Clasificación de usos estimados: (H-a) habitacional de alta densidad; (H-m) habitacional de media densidad; (H-b) habitacional de baja densidad; (HM-a) habitacional mixto de alta densidad; (HM-m) habitacional mixto de media densidad; (M) mixto especializado; (E) equipamiento; (CS) comercio y servicios; (I) industria; y (AV) deporte, recreación y área verde.

Fuente: elaboración propia con base en datos derivados del diagrama arriba presentado.

(77.14 % de la superficie total urbana), seguido del equipamiento (con 7.02 %) y, en tercer lugar, del uso habitacional mixto de media densidad (5.58 %), que asciende a 1 967 346.4 hectáreas. Estos datos pueden sustentar que casi ocho de cada 10 manzanas tienen uso habitacional y que en este predominan predios mayores a 100 m² de superficie, en promedio. Dicha situación hablaría de una ocupación urbana de baja densidad, con posibilidades de adoptar políticas que promuevan la compacidad y mayor aprovechamiento de espacio urbano.

La estimación del uso de suelo nacional permite agregar por entidad federativa la distribución territorial. En términos comparativos, en la gráfica 2 se observa que la Ciudad de México, proporcionalmente, tiene los mayores porcentajes de uso habitacional de alta y media densidad, seguido de Quintana Roo, el estado de México y Aguascalientes; llama la atención que Jalisco y Nuevo León se

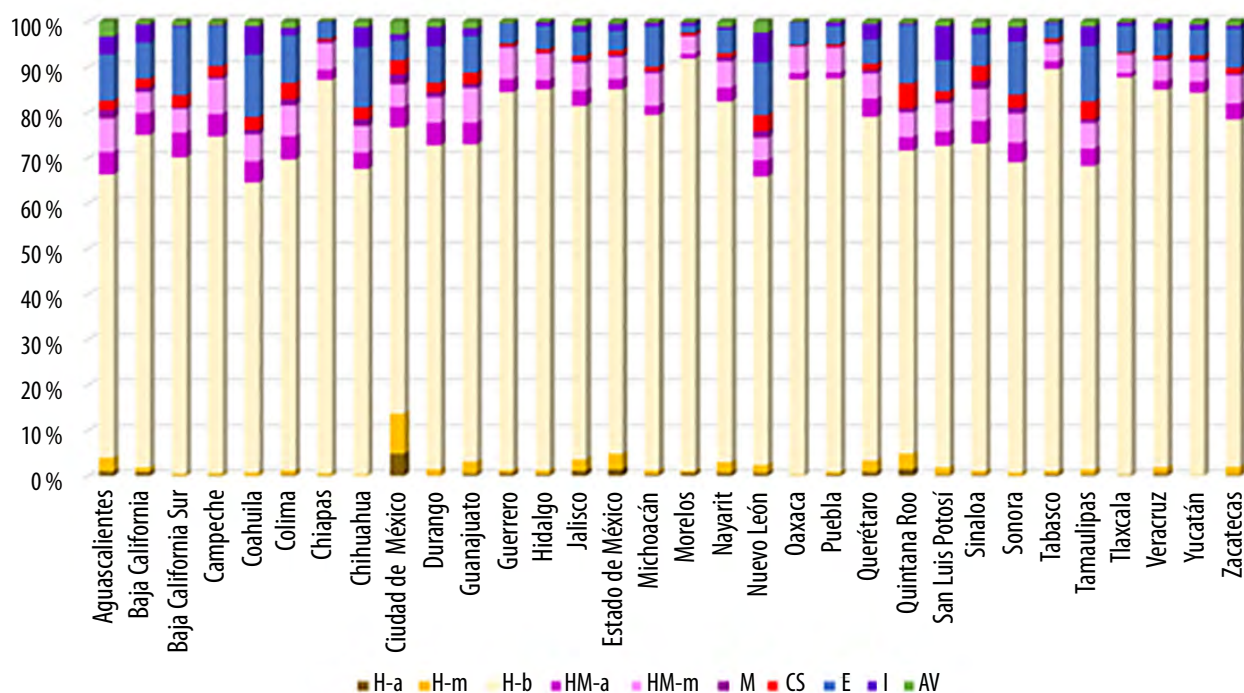
encuentran por debajo de la lista antes mencionada, lo cual hace suponer que, en promedio, en sus áreas urbanas las densidades altas y medias son de baja representatividad.

La estimación del uso de suelo puede ser analizada con base en la clasificación de los asentamientos urbanos del Sistema Urbano Nacional (SUN) y comparar la distribución territorial de los usos entre ellos.¹³ En este sentido, los datos obtenidos muestran mayor participación de los usos habitacionales de alta y media densidad en las zonas metropolitanas y mayor porcentaje de habitacional de baja densidad en localidades dispersas (ver cuadro 6).

13 Para este trabajo, se utiliza para fines comparativos el SUN 2018, que define un total de 401 ciudades clasificadas por su población y tamaño en: zonas metropolitanas, conurbaciones y centros de población (DE) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/400771/SUN_2018.pdf

Gráfica 2

Distribución del uso de suelo urbano por entidad federativa, 2020



Clasificación de usos estimados: (H-a) habitacional de alta densidad; (H-m) habitacional de media densidad; (H-b) habitacional de baja densidad; (HM-a) habitacional mixto de alta densidad; (HM-m) habitacional mixto de media densidad; (M) mixto especializado; (E) equipamiento; (CS) comercio y servicios; (I) industria; y (AV) deporte, recreación y área verde.

Fuente: elaboración propia con base en el diagrama arriba presentado, agrupados por estado.

Distribución porcentual por tipo de ciudad, SUN 2018

Clave uso	Zonas metropolitanas	Conurbaciones	Centros de población	Localidades dispersas	Nacional
H-a	1.08	0.12	0.12	0.05	0.64
H-m	2.57	0.55	0.49	0.10	1.56
H-b	72.19	79.75	77.86	86.64	77.14
HM-a	3.80	3.01	3.33	0.88	2.93
HM-m	5.24	6.54	7.41	5.36	5.58
M	1.03	0.64	0.60	0.20	0.74
CS	2.20	1.27	1.42	0.34	1.56
E	7.60	6.51	7.24	5.88	7.02
I	3.23	1.03	0.70	0.20	2.02
AV	1.07	0.60	0.84	0.35	0.82

Este cuadro muestra usos agrupados por tipo de asentamiento humano expresados en porcentajes. Las localidades dispersas agrupan las localidades urbanas que no forman parte de las tres categorías definidas por el SUN 2018.

Clasificación de usos estimados: (H-a) habitacional de alta densidad; (H-m) habitacional de media densidad; (H-b) habitacional de baja densidad; (HM-a) habitacional mixto de alta densidad; (HM-m) habitacional mixto de media densidad; (M) mixto especializado; (E) equipamiento; (CS) comercio y servicios; (I) industria; y (AV) deporte, recreación y área verde.

Fuente: elaboración propia con base en el mapa 1.

El uso habitacional mixto de media densidad mantiene proporciones similares entre los cuatro tipos de ciudades; no obstante, es marcada la carencia del habitacional mixto de alta densidad en localidades de menor tamaño (dispersas), así como de usos industrial, área verde, comercio y servicios.

Dado que la capa geográfica generada a nivel nacional es vectorial, también permite analizar los usos del suelo a nivel de ciudad. Con esto, se pueden hacer comparaciones al interior de zonas específicas o comparar con otras fuentes de información, como puede ser el catastro. En este sentido, se presentan los resultados que se obtuvieron de la clasificación de los usos actuales catastrales y los estimados para el caso de la Ciudad de México (ver mapas 2a y 2b).

Se encontró que, en términos generales, existen proporciones de participación similares entre los usos estimados con los catastrales. Sin embargo, de manera particular, los que mayor diferencia muestran son el habitacional (H-m) y el habitacional mixto (HM-m), ambos de media densidad, los cuales se sobrestimaron, así como también las áreas verdes, que se encuentran por debajo del

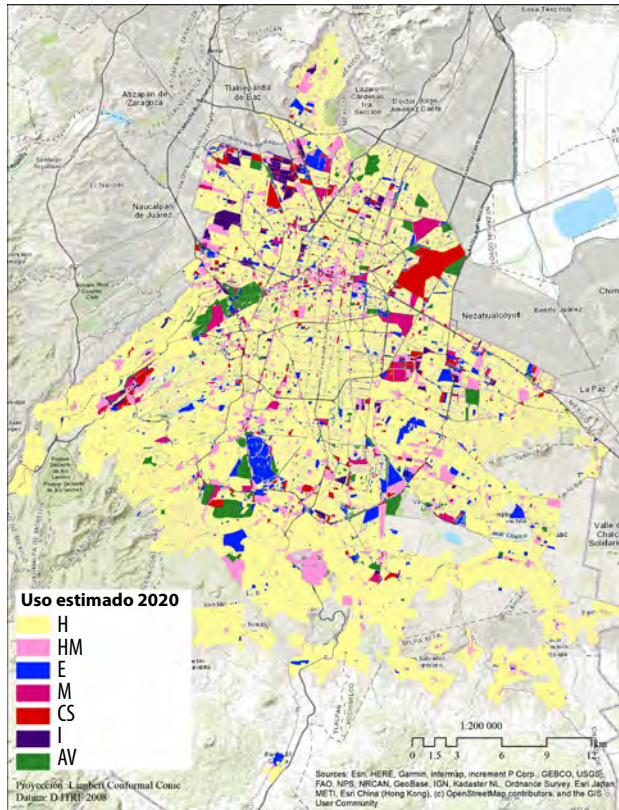
porcentaje catastral. Estas ligeras diferencias globales se pueden observar de mejor manera en el cuadro 7.

Los datos del cuadro 7 demuestran la existencia de una proporcionalidad similar entre los usos estimados y los catastrales. No obstante, fue necesario realizar un ejercicio de correlación espacial para validar o determinar el grado de similitud de ambas bases. Para ello, se tomaron los usos agregados, omitiendo las densidades, con el fin de obtener la comparación por pureza de uso.

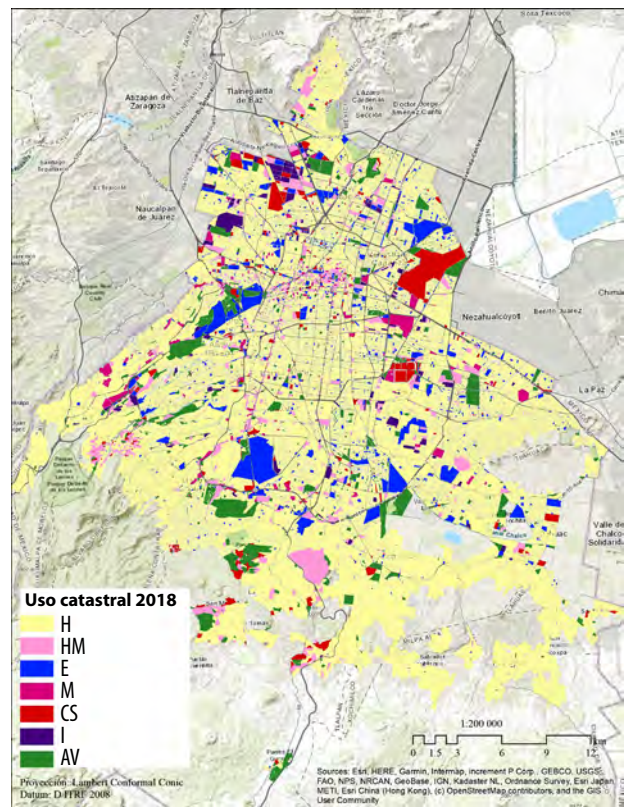
Si bien la SEDATU recomienda el uso de los coeficientes Kappa y Exactitud, estos tienen algunas limitaciones cuando hay un marcado desbalance en las clasificaciones. Delgado y Tibau (2019) realizaron una revisión de las críticas al uso de Kappa y concluyeron que se debería evitar como métrica para la evaluación de clasificaciones. Particularmente, encontraron tres paradojas: a) la llamada de Kappa, que consiste en la penalización dado un acuerdo general fijo entre clasificadores (el estadístico penaliza aquellos elementos con valores marginales similares respecto a los que tienen valores distintos); b) de prevalencia: cuando la probabili-

Mapas 2

a. Uso estimado 2020, Ciudad de México



b. Uso catastral 2018, Ciudad de México



Usos agregados para fines comparativos, no se incluye la densidad.

Clasificación general del uso de suelo catastral: (H) habitacional; (HM) habitacional mixto; (E) equipamiento; (M) mixto; (CS) comercio y servicios; (I) industria; y (AV) área verde.

Fuente: elaboración propia con base en el diagrama arriba presentado y ADIP, 2018.

Cuadro 7

Representación de uso estimado y catastral para la Ciudad de México

Uso	Superficie (%)	
	Estimado	Catastral
Habitacional de alta densidad (H-a)	4.86	3.73
Habitacional de media densidad (H-m)	8.87	4.64
Habitacional de baja densidad (H-b)	62.61	66.63
Habitacional mixto de alta densidad (HM-a)	4.28	3.48
Habitacional mixto de media densidad (HM-m)	4.58	2.21
Mixto especializado (M)	2.20	1.63
Equipamiento (E)	4.42	5.87
Comercio y servicios (CS)	3.10	3.48
Industria (I)	1.61	1.79
Deporte, recreación y área verde (AV)	3.46	6.55

Fuente: elaboración propia con base en datos de los mapas 2a y 2b.

dad hipotética entre clasificadores es alta (valores altos en precisión) resultan valores bajos en Kappa; y c) de sesgo, representada con distribuciones marginales desbalanceadas, que provocan que Kappa tienda a la sobrestimación.

Existe una gran cantidad de estadísticos para la evaluación del desempeño de clasificadores; en este sentido, Tarwhat (2021) apunta que, dado que el problema sigue vigente, lo más recomendable es el uso combinado de métricas. Labaut y Cherifi (2011) hicieron una revisión de diversas métricas de evaluación de clasificaciones; argumentan que una alternativa viable son las basadas en la precisión y exhaustividad, las cuales suelen ser complementarias.

En el cuadro 8 se muestran las versiones macro (globales) de las métricas ponderadas por superficie. En todos los índices, valores cercanos a 1 indican un buen resultado.

Discusión

Ante la debilidad financiera y capacidad técnica de los gobiernos municipales para la generación de insumos para la planeación y gestión de su territorio, el presente método propuesto debe ser considerado por la SEDATU como un instrumento útil con carácter de emergente en ausencia de un catastro confiable que permita definir por esta vía el uso actual del suelo urbano. Este procedimiento permitiría, además, dar seguimiento —a manera de indicador— a la distribución de los usos del suelo en el tiempo y tomar decisiones de política pública en función del grado de cumplimiento de los ordenamientos locales, estatales, federales e internacionales.

Es evidente que, en la actualidad, existen técnicas novedosas tanto para la estimación de los usos del suelo urbano como para la actualización de las bases catastrales, principalmente con procesamiento de información de PR y datos abiertos mediante procedimientos que involucran conocimientos profundos de análisis espacial e inteligencia artificial. Dichas técnicas son de alto costo (equipos de cómputo muy potentes e infraestructura para análisis remoto de datos) y precisan de una alta especialización de recursos humanos para su implementación, por lo que no se consideran operativas en el contexto actual de la realidad económica, social y cultural en la mayoría de los municipios de México. Lo destacable de este método es que tiene un desempeño similar al reportado en la literatura, pero con procesos más parsimoniosos y sin la utilización de PR ni algoritmos de AI. Debe aclararse que la propuesta aquí presentada no tiene la finalidad de actualizar el catastro, es una herramienta que debe ser considerada como insumo base para iniciar el proceso de planeación urbana y de gestión del territorio.

Por otro lado, la distribución espacial de los usos del suelo de este método puede ser utilizada para analizar las relaciones funcionales desde el ámbito de la investigación urbana. Permite hacer comparaciones entre diversos niveles geográficos y diferentes cortes temporales, y también puede ser considerado como una variable en análisis de correlación espacial. Sin embargo, la debilidad detectada es la completa dependencia de la producción de los datos en futuros eventos censales por parte del INEGI. Si esta institución continúa con la generación de las fuentes utilizadas en este ejercicio, será posible hacer comparaciones en el tiempo y, posiblemente, realizar escenarios y patrones.

Cuadro 8

Métricas de comparación del uso catastral y el estimado para la Ciudad de México (resultados globales)

Precisión	Exhaustividad	Índice $F-1$	Índice $F\beta-0.5$	Índice $F\beta-2$
0.906	0.886	0.892	0.899	0.888

Las medidas F que aquí se presentan deben de ser interpretadas como una medida de superposición entre las clases verdaderas y las estimadas. Para mayor detalle ver Labaut y Cherifi (2011).
Fuente: elaboración propia.

Conclusiones

En este documento se presentó una propuesta de estimación de uso del suelo urbano, con cobertura nacional, que podría ser la base de la cual partieran programas de DU y OT en nivel municipal y escala metropolitana en zonas o regiones donde no se cuente con esa información base. Dada la sostenida calidad y continuidad que presentan las diferentes series de información pública que periódicamente genera el INEGI, se presume que el método presentado podría seguirse aplicando en ulteriores series, no solo para actualizar los propios programas, sino para comparar la evolución del uso del suelo en relación con las políticas públicas territoriales establecidas (i.e., corredores industriales, policentrismo, mayor mezcla de uso del suelo, etcétera).

Las fuentes públicas utilizadas son complementarias en el sentido de su especialización en un aspecto de la realidad territorial. El Marco Geoestadístico Nacional por manzana provee la base más importante para darle seguimiento a la distribución de la población y vivienda; el SIP, difícilmente, será exhaustivo, pero complementa elementos fundamentales de equipamiento urbano; y, por último, el DENUe da cuenta de los usos actuales, inclusive en zonas urbanas con baja capacidad institucional para la gestión urbana.

Una aportación de este trabajo consiste en la cuidadosa homologación de las clasificaciones —definidas por los instrumentos normativos—, que son utilizadas en la reclasificación de los datos abiertos y en el catastro, lo que permite su comparación. Sin embargo, vale la pena poner atención en los criterios de clasificación de manzanas urbanas, definidos por el INEGI, ya que puede llevar a delimitaciones diferentes con respecto a los estudios sobre crecimiento y expansión urbana.

Las principales ventajas del presente método residen en la sistematización de las bases de datos del INEGI y su continuidad, insumo base de la propuesta, así como en su relativa facilidad de aplicación. Entre las desventajas observadas se encuentra la disparidad con la que se clasifica el uso

del suelo, no solo en el catastro, sino en los propios programas de DU y OT locales, a pesar de existir guías federales para ello, pues su definición es una potestad local. Ello dificulta la validación del método e impide generar una serie nacional que se acople perfectamente a cada ley de ordenamiento local. Aun con ello, ya es posible observar hallazgos analíticos relevantes en este trabajo, no solo en escala urbana, sino en la del SUN.

De continuar la tendencia sobre la imposibilidad municipal para generar información base para ordenar sus propios territorios, cabe pensar que esta propuesta daría respuesta a una necesidad derivada de la ausencia de información sistematizada. Más aún, se presume que dicha sistematización, y su eventual mejora en los procesos, podría reducir significativamente los costos de estudios previos a la realización de un programa de DU o a uno de OT.

Fuentes

- ADIP. *Sistema Abierto de Información Geográfica (SIGCDMX)*. México, Agencia Digital de Innovación Pública, Gobierno de Ciudad de México, 2018 (DE) <https://sig.cdmx.gob.mx/datos/> consultado el 7/07/2022.
- Aldret, A. "La oportuna fragilidad del municipio en México: capacidades institucionales en el marco de un federalismo disfuncional", en: *Revista Iberoamericana de Estudios Municipales*. 11, 2015, pp. 145-172 (DE) <https://doi.org/10.32457/riem.vi11.375> consultado el 3/10/2022.
- Banco Mundial. *Urban development*. 2020 (DE) <https://www.worldbank.org/en/topic/urbandevelopment/overview#1> consultado el 7/07/2022.
- Cabrero, E. "Capacidades institucionales en gobiernos subnacionales de México: ¿un obstáculo para la descentralización fiscal?", en: *Gestión y Política Pública*. 13(3), 2004, pp. 753-784 (DE) <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=13313306> consultado el 3/10/2022.
- Cámara de Diputados del Honorable Congreso de la Unión. "Presupuesto de Egresos de la Federación Para el Ejercicio Fiscal 2022", en: *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. México, 29 de noviembre de 2021 (DE) https://www.diputados.gob.mx/LeyesBiblio/pdf/PEF_2022.pdf consultado el 7/07/2022.
- CIDEU. *Los institutos municipales de planeación en México*. Centro de Desarrollo Estratégico Urbano, 2022 (DE) <https://blog.cideu.org/2022/03/23/los-institutos-municipales-de-planeacion-en-mexico/> consultado el 6/01/2023.
- Chen, B., Y. Tu, Y. Song, D. M. Theobald, T. Zhang, Z. Ren, [...] y B. Xu. "Mapping essential urban land use categories with open big data: Results for five

- metropolitan areas in the United States of America”, en: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*. 178, 2021, pp. 203-218 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2021.06.010> consultado el 3/10/2022.
- Delgado R. y X. Tibau. “Why Cohen’s Kappa should be avoided as performance measure in classification”, en: *PLOS ONE*. 14(9), 2019, pp. 1-26. (DE) <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0222916> consultado el 3/10/2022.
- Foody, G., L. See, S. Fritz, M. Van der Velde, C. Perger, C. Schill y A. Comber. “Accurate attribute mapping from volunteered geographic information: issues of volunteer quantity and quality”, en: *The Cartographic Journal*. 52(4), 2015, pp. 336-344 (DE) <https://doi.org/10.1080/00087041.2015.1108658> consultado el 7/07/2022.
- Forbes. “México padece la mayor desigualdad de ingresos: OCDE”, en: *Forbes*. julio 14 de 2015 (DE) <https://www.forbes.com.mx/mexico-padece-la-mayor-desigualdad-de-ingresos-ocde/> consultado el 7/07/2022.
- Gómez, N. *Instancias para la renovación de la gestión urbana en México. Caso de estudio: Institutos Municipales de Planeación*. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México, 2015 (DE) <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/49150/NAYELI%20GOMEZ%20ZARZA.pdf?sequence=1> consultado el 7/07/2022.
- González, S., B. Kunz y R. Barrios. “Uso residencial”, en: Kunz, B. Ignacio (coord.). *Usos del suelo y territorio: tipos y lógicas de localización en la Ciudad de México*. México, Ed. Plaza y Valdés, S. A. de C. V., 2003, pp. 173-185.
- Huang, B., B. Zhao y Y. Song. “Urban land-use mapping using a deep convolutional neural network with high spatial resolution multispectral remote sensing imagery”, en: *Remote Sensing of Environment*. 214, 2018, pp. 73-86 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.rse.2018.04.050> consultado el 3/10/2022.
- Instituto Mexicano para la Competitividad, A. C. (IMCO). *Ciudades resilientes: Índice de Competitividad Urbana 2020*. México, IMCO, 2020 (DE) https://imco.org.mx/wp-content/uploads/2020/11/20201111_ICU-2020_Documento.pdf consultado el 7/07/2022.
- Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI). *Manual de usuario. Sistema para la Consulta de Información Censal 2010. Censo de Población y Vivienda. Versión: 052012*. Aguascalientes, México, INEGI, 2010 (DE) <http://gaia.inegi.org.mx/scince2/docs/manualUsuario.pdf> consultado el 7/07/2022.
- _____. *Sistema de Clasificación Industrial de América del Norte (SCIAN) 2018, México*. Aguascalientes, México, INEGI, 2018 (DE) <https://www.inegi.org.mx/contenidos/app/scian/tablaiv.pdf> consultado el 7/07/2022.
- _____. *Censo de Población y Vivienda 2020*. Aguascalientes, México, INEGI, 2020a (DE) www.inegi.gob.mx consultado el 7/07/2022.
- _____. *Directorio Estadístico Nacional de Unidades Económicas (DENUE)*. Aguascalientes, México, INEGI, 2020b (DE) <https://www.inegi.org.mx/app/descarga/default.html> consultado el 7/07/2022.
- _____. *Marco Geoestadístico. Censo de Población y Vivienda 2020*. Aguascalientes, México, INEGI, 2020c (DE) <https://www.inegi.org.mx/app/biblioteca/ficha.html?upc=889463807469> consultado el 7/07/2022.
- _____. *Sistema para la Consulta de Información Censal (SCINCE) 2020*. Aguascalientes, México, INEGI, 2020d (DE) <https://gaia.inegi.org.mx/scince2020/> consultado el 7/07/2022.
- _____. *Censo Nacional de Gobiernos Municipales y Demarcaciones Territoriales de la Ciudad de México 2021*. Aguascalientes, México, INEGI, 2021 (DE) <https://www.inegi.org.mx/programas/cngmd/2021/#Documentacion> consultado el 7/07/2022.
- Jokar Arsanjani, J., M. Helbich, M. Bakillah, J. Hagenauer, & A. Zipf. “Toward mapping land-use patterns from volunteered geographic information”, en: *International Journal of Geographical Information Science*. 27(12), 2013, pp. 2264-2278. (DE) <https://doi.org/10.1080/13658816.2013.800871> consultado el 3/10/2022.
- Labatut, V. y H. Cherifi. “Accuracy Measures for the Comparison of Classifiers”. Amman, *The 5th International Conference on Information Technology*, 2011, pp. 1-5 (DE) <http://arxiv.org/abs/1207.3790> consultado el 7/07/2022.
- Liu, X., J. He, Y. Yao, J. Zhang, H. Liang, H. Wang, & Y. Hong “Classifying urban land use by integrating remote sensing and social media data”, en: *International Journal of Geographical Information Science*. 31(8), 2017, pp. 1675-1696. (DE) <https://doi.org/10.1080/13658816.2017.1324976> consultado el 3/10/2022.
- Massiris, Á. *Fundamentos conceptuales y metodológicos del ordenamiento territorial*. Tunja, Colombia, Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, 2005, p.122.
- Naciones Unidas. *Transición energética: Las ciudades y la contaminación contribuyen al cambio climático*. (s. f) (DE) <https://www.un.org/es/climate-change/climate-solutions/cities-pollution#:~:text=Las%20ciudades%20son%20uno%20de,la%20superficie%20de%20la%20Tierra> consultado el 7/07/2022.
- Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos (OCDE). *Public Investment*. s. f. (DE) <https://www.oecd.org/governance/public-investment.htm> consultado el 7/07/2022.
- _____. *Revenue statistics in Latin America, 1990-2009*. Paris, France, 2011 (DE) <https://doi.org/10.1787/9789264110540-en-fr> consultado el 7/07/2022.
- Programa de las Naciones Unidas para los Asentamientos Humanos (ONU-Hábitat). *Planeamiento urbano para las autoridades locales*. Nairobi, Kenia, ONU-Hábitat, 2014 (DE) https://unhabitat.org/sites/default/files/download-manager-files/Urban%20Planning%20for%20City%20Leaders_Spanish.pdf consultado el 7/07/2022.

- Rabianski, J. *Desarrollo de uso mixto: una revisión de la literatura profesional*. Fundación de Investigación de la Asociación Nacional de Propiedades Industriales y de Oficinas, 2007 (DE) [https://www.cdfa.net/cdfa/cdfaweb.nsf/ord/e85f455bb30951708825793600673c68/\\$file/mixed-use.pdf](https://www.cdfa.net/cdfa/cdfaweb.nsf/ord/e85f455bb30951708825793600673c68/$file/mixed-use.pdf) consultado el 18/09/2022.
- Sánchez, M., J. Casado y G. Bocco. "Introducción", en: Sánchez, M., G. Bocco y J. Casado. *La política de ordenamiento territorial en México: de la teoría a la práctica*. Ciudad de México, México, Instituto de Geografía, Centro de Investigaciones en Geografía Ambiental, Universidad Nacional Autónoma de México, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales, Instituto Nacional de Ecología y Cambio Climático, 2013, pp. 19-44.
- Secretaría de Desarrollo Agrario, Territorial y Urbano (SEDATU). "Ley General de Asentamientos Humanos, Ordenamiento Territorial y Desarrollo Urbano", en: *Diario Oficial de la Federación (DOF)*. México, 28 de noviembre de 2016 (DE) http://dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5462755&fecha=28/11/2016 consultado el 7/07/2022.
- _____. *Lineamientos Simplificados: Guía de Implementación*. México, SEDATU, 2020 (DE) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/622571/Guia_de_Implementacion_n_.pdf consultado el 7/07/2022.
- _____. *Estrategia Nacional de Ordenamiento Territorial*. México, SEDATU, 2021 (DE) <https://www.gob.mx/sedatu/documentos/estrategia-nacional-de-ordenamiento-territorial-de-la-sedatu-2020-2040> consultado el 7/07/2022.
- _____. *Lineamientos simplificados para la elaboración de los programas metropolitanos*. México, SEDATU, 2021a (DE) <https://mimexicolate.gob.mx/wp-content/uploads/2021/03/Lineamientos-PM.pdf> consultado el 7/07/2022.
- _____. *Programa de Modernización de los Registros Públicos de la Propiedad y Catastro*. México, SEDATU, 2021b (DE) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/686462/Diagnostico_2021_U003_Rev_UPDI_280921_VF031221.pdf consultado el 7/07/2022.
- SEDATU, Secretaría de Medio Ambiente y Recursos Naturales (SEMARNAT) y Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ, por sus siglas en inglés). *Guía Metodológica para la Elaboración y Actualización de Programas Municipales de Desarrollo Urbano*. México, SEDATU, SEMARNAT, GIZ, 2017 (DE) https://www.gob.mx/cms/uploads/attachment/file/484508/04_02_1.2_PMDU2017_Guiametodologica.pdf consultado el 7/07/2022.
- Tharwat, A. "Classification assessment methods", en: *Applied Computing and Informatics*. 17(1), 2021, pp. 168-192 (DE) <https://doi.org/10.1016/j.aci.2018.08.003> consultado el 7/07/2022.
- World Resources Institute Ross Center for Sustainable Cities (WRI). *El costo de la expansión urbana en México*. México, WRI, 2021 (DE) <https://urbantransitions.global/wp-content/uploads/2021/07/Costos-economicos-para-la-expansion.pdf> consultado el 7/07/2022.
- Ziccardi, A. y A. González. "Política de vivienda y municipios en México", en: Ziccardi, A. y A. González (eds.). *Habitabilidad y política de vivienda en México*. Ciudad de México, México, Universidad Nacional Autónoma de México, 2015, pp. 47-58.